

## Оценка качества проекта на основе нечеткого моделирования

**Е. Н. Живицкая**, проректор по учебной работе

E-mail: [jivitskaya@bsuir.by](mailto:jivitskaya@bsuir.by)

УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», ул. П. Бровки, д. 6, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

**Т. А. Сафронова**, исследователь

E-mail: [tanyshka-mog@yandex.ru](mailto:tanyshka-mog@yandex.ru)

УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», ул. П. Бровки, д. 6, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** В статье рассмотрены методы поддержки принятия решений для слабоструктурированных задач на основе создания лингвистической модели. Представлена типовая структура нечеткой модели. Рассмотрено создание нечеткой модели оценки качества проекта с содержательной интерпретацией входных (опыт проектировщика, процент совершенных им ошибок, универсальность, сложность проекта, качество исходных данных, время разработки) и выходных переменных (ошибка проекта). Описан косвенный вариант построения функций принадлежности. Указаны блоки правил. Первый блок правил – рейтинг проектировщика – позволяет учесть качество работы разработчика проекта и состоит из 36 правил нечетких продукций. Второй блок – оценка проекта – содержит 81 правило нечетких продукций. С помощью среды fuzzyTECH 5.54d построены нечеткая модель и поверхности нечеткого вывода. В качестве средства дефазификации использован метод наилучшего компромисса. Полученные результаты указывают на экономию денежных средств за счет снижения производственных запасов на основе анализа качества проекта.

**Ключевые слова:** методы поддержки принятия решений, неопределенность, нечеткая логика, лингвистическая переменная, терм-множества, база правил, фаззификация, дефаззификация

**Для цитирования:** Живицкая, Е. Н. Оценка качества проекта на основе нечеткого моделирования / Е. Н. Живицкая, Т. А. Сафронова // Цифровая трансформация. – 2019. – № 2 (7). – С. 5–12.



© Цифровая трансформация, 2019

## Project Quality Assessment Based on Fuzzy Nodeling

**E. N. Zhivitskaya**, Vice-Rector for Academic Affairs

E-mail: [jivitskaya@bsuir.by](mailto:jivitskaya@bsuir.by)

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,  
6 P. Brovka Str., 220013 Minsk, Republic of Belarus

**T. A. Safronova**, Researcher

E-mail: [tanyshka-mog@yandex.ru](mailto:tanyshka-mog@yandex.ru)

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,  
6 P. Brovka Str., 220013 Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** Methods for decision making as semi-structured goals which based on creation of linguistic model are considered in this article. Pattern of fuzzy model system is presented. Creation fuzzy model for project quality with substantive interpretation for input (projector experience, universality, projector error bar, project complexity, quality of basic data, engineering time) and output (project error) variables is reported in main body. Rule blokes are indicated to estimate output variable. The first rule bloke – projector rating- consists of 36 fuzzy rules that help taking into account quality of projector's work. The second rule bloke consists of 81 fuzzy rules. Fuzzy model and surfaces of fuzzy inference are created in fuzzyTECH 5.54d. In the capacity of defuzzification method is used method of the best compromise. Obtained results point at capital saving due to inventory decrease on basis of analysis of project quality.

**Key words:** support methods for decision making, uncertainty, fuzzy logic, linguistic variable, term-sets, rule base, fuzzification, defuzzification

**Введение.** Принятие решений в реальной системе управления – это многогранный процесс, осложненный бесконечным разнообразием объективно существующих альтернатив и ограниченными техническими и временными возможностями. Во время их выполнения в условиях неопределенности часто возникает один из двух типов задач: слабоструктурированные или неструктурированные. Слабоструктурированные задачи содержат неизвестные или не измеряемые компоненты, которые невозможно оценить количественно, а постановка задач предполагает принятие решений в условиях неполной информации. Неструктурированные задачи содержат не формализуемые процедуры, базирующиеся на неструктурированной информации, важной чертой которой является высокая степень неопределенности. Применение теории нечетких множеств позволяет построить формальные схемы решения задач, характеризующихся той или иной степенью неопределенности, которая может быть обусловлена неполнотой, внутренней противоречивостью, неоднозначностью и размытостью исходных данных, представляющих собой приближенные или качественные оценки объектов [1].

Л. Заде предложил лингвистическую модель, которая использует не математические выражения, а слова, отражающие качество [2].

Основной тенденцией развития современного управления проектами является их неопределенность. Факторы неопределенности рассматриваются как специфические риски, методы управления которыми до недавнего времени не были разработаны [3; 4].

Целью исследования является построение нечеткой модели для оценки качества проекта – ключевого фактора в отклонениях проектных и фактических объемов для снижения уровня производственных запасов.

**Основная часть.** По А. Пегату [5] можно выделить три основных метода нечеткого моде-

лирования: нечеткое моделирование на основе экспертных знаний о системе; построение самонастраивающихся нечетких моделей на основе измерения входов и выходов системы; построение самоорганизующихся и самонастраивающихся нечетких моделей на основе измерений входов и выходов системы.

Чтобы построить нечеткую модель, необходимо определить все ее элементы: базу правил, число и тип функций принадлежности для каждой переменной модели, параметры функций принадлежности, логические операторы и т. п.

В результате анализа различных классификаций факторов, влияющих на качество проекта [3; 6; 7; 8], были выведены следующие входные лингвистические переменные разрабатываемой нечеткой модели:

1) «Опыт проектировщика» («Projector\_Experience»). Для данной переменной будем использовать множество:  $T_1 = \{\text{"низкий", "средний", "высокий", "чрезмерный"}\}$ .

2) «Универсальность» («Universality»). Будем использовать терм-множество:  $T_2 = \{\text{"низкая", "средняя", "высокая"}\}$ .

3) «Процент ошибок проектировщика» («Error\_Bar»). Будем использовать терм-множество  $T_3 = \{\text{"низкая", "средняя", "высокая"}\}$ .

4) «Сложность проекта» («Complexity»). Будем использовать терм-множество:  $T_4 = \{\text{"низкая", "средняя", "высокая"}\}$ .

5) «Качество исходных данных» («Basic\_data»). Будем использовать терм-множество:  $T_5 = \{\text{"низкое", "среднее", "высокое"}\}$ .

6) «Время разработки» («Engineering\_time»). Будем использовать терм-множество:  $T_6 = \{\text{"низкое", "среднее", "высокое"}\}$ .

В качестве метода построения функции принадлежности используется построение частотных оценок терм-множеств.

Процесс построения частотных оценок терм-множеств для лингвистической переменной

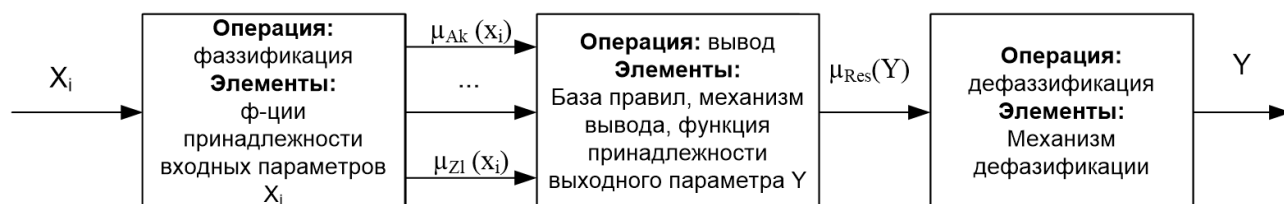


Рис. 1. Типовая структура нечеткой модели системы

Fig. 1. Pattern of fuzzy model system

«сложность» базируется на статистической обработке мнений группы экспертов [9].

Согласно [8] с ростом числа экспертов в группе точность измерения повышается, и исходная численность экспертной группы составляет обычно не менее 7 человек. В рассматриваемом исследовании количество экспертов составило 8 человек: 3 главных инженера проекта (с привлечением специалистов сторонних организаций) и 5 инженеров-проектировщиков (с привлечением специалистов сторонних организаций).

При построении функций принадлежности каждый эксперт заполнил анкету, в которой указал свое мнение о наличии у элементов свойств нечеткого множества. Будем считать оценки экспертов бинарными, где 1 указывает на наличие у элемента свойства нечеткого множества, а 0 – на их отсутствие.

По результатам анкетирования степени принадлежности нечеткому множеству были рассчитаны по формуле (1):

$$\mu_{ji}(u_i) = \frac{1}{K} \sum_{k=1, \overline{K}} b_{ji}^k, i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где  $K$  – количество экспертов,  $b_{ji}^k$  – мнение  $k$ -го эксперта о наличии у элемента  $u_i$  свойств нечеткого множества  $\tilde{J}_j$ .

Столбцы индексированы количеством домов, подлежащих переключению на технологию xPON, а строки – элементами терм-множеств «очень простой», «простой», «средний», «сложный», «очень сложный».

При проектировании внутридомовых и магистральных сетей в рамках проектов необходи-

мо предусмотреть строительство и подключение отдельно стоящих домов и зданий организаций. Так, при проектировании телефонизации новых домов разрабатывается проект для одного дома, в котором проектируется магистральная, распределительная и абонентская сети. При переключении района (районов) количество отдельно стоящих домов существенно возрастает, как следствие появляются разветвительные и соединительные муфты, врезки в существующие муфты, устройства абонентских вводов, докладки участков телефонной канализации, строительство новых участков, переключение станционного оборудования, установка кроссов и т. п.

На пересечении соответствующей строки и столбца каждый эксперт указал, можно ли отнести данное количество домов к соответствующей мере сложности проекта, т.е. насколько сходны понятия «простой» и «10-16 домов» в ситуации проектирования магистральных и внутридомовых сетей.

Результаты обработки экспертных мнений сведены в таблицы 2 и 3. Данные в таблице 2 соответствуют количеству голосов, отданных экспертами за принадлежность к нечеткому множеству соответствующего элемента универсального множества, а числа в таблице 3 представляют собой результаты расчета функции принадлежности по формуле (1).

Аналогичным образом строятся частотные оценки лингвистических переменных «Универсальность», «Время разработки», «Качество исходных данных».

Расчет процента брака в работе проектировщиков производится с учетом постоянного

Таблица 1. Результат опроса экспертов  
Table 1. Result of experts' examination

	Терм	1-2	3-5	5-10	10-16	>16
Эксперт 1	очень простой	1	1	1	1	0
	простой	1	1	1	1	0
	средний	0	1	1	1	0
	сложный	0	0	0	1	1
	очень сложный	0	0	0	0	1
Эксперт 2	очень простой	1	0	0	0	0
	простой	1	1	0	0	0
	средний	1	1	1	0	0
	сложный	0	0	1	1	1
	очень сложный	0	0	0	1	1
Эксперт 3	очень простой	1	1	0	0	0
	простой	1	1	1	0	0
	средний	0	1	1	1	0

Продолжение таблицы 1  
Table 1 (continuation)

	сложный	0	0	0	1	1
	очень сложный	0	0	0	1	1
Эксперт 4	очень простой	1	0	0	0	0
	простой	1	1	0	0	0
	средний	1	1	1	0	0
	сложный	0	1	1	1	1
	очень сложный	0	0	0	1	1
Эксперт 5	очень простой	1	0	0	0	0
	простой	1	1	0	0	0
	средний	1	1	1	0	0
	сложный	0	1	1	1	1
	очень сложный	0	0	0	0	1
Эксперт 6	очень простой	1	1	1	0	0
	простой	1	1	1	1	0
	средний	0	1	1	1	0
	сложный	0	0	0	1	1
	очень сложный	0	0	0	1	1
Эксперт 7	очень простой	1	1	0	0	0
	простой	1	1	1	0	0
	средний	0	1	1	1	0
	сложный	0	0	1	1	1
	очень сложный	0	0	0	1	1
Эксперт 8	очень простой	1	0	0	0	0
	простой	1	1	0	0	0
	средний	1	1	1	0	0
	сложный	0	0	0	1	1
	очень сложный	0	0	0	1	1

расчета отклонений фактических и проектных величин по видам материального ресурса в разрезе каждого проектировщика. Общий процент брака рассчитывается как среднеквадратическое отклонение по реализованным проектам за выбранный период.

Первый блок правил с именем «Рейтинг проектировщика» («Projector\_Rating») используется для промежуточной оценки общего уровня

разработчика проекта и для рассматриваемой системы нечеткого вывода содержит 36 правил нечетких продукций. Входными лингвистическими переменными этого блока правил являются первые три входные лингвистические переменные проекта, а выходной лингвистической переменной этого блока правил – промежуточная переменная данного проекта с именем «Projector\_Rating».

Таблица 2. Результат обработки мнений экспертов  
Table 2. Result of processing experts' opinions

Терм	1-2	3-5	5-10	10-16	>16
очень простой	8	4	2	1	0
простой	8	8	4	2	0
средний	4	8	8	4	0
сложный	0	2	4	8	8
очень сложный	0	0	4	6	8

Таблица 3. Определение сложности проекта (функции принадлежности)  
Table 3. Definition of project complexity (membership functions)

Терм	1-2	3-5	5-10	10-16	>16
очень простой	1	0,5	0,25	0,13	0
простой	1	1	0,5	0,2	0
средний	0,5	1	1	0,5	0
сложный	0	0,25	0,5	1	1
очень сложный	0	0	0,5	0,75	1

Второй блок правил – «Оценка проекта» («Project\_Assessment») – применяется для оценки общего уровня ошибки проекта и для рассматриваемой системы нечеткого вывода содержит 81 правило нечетких продукций. Входными лингвистическими переменными этого блока правил являются: «Качество исходных данных» («Basic\_Data»), «Сложность проекта» («Complexity»), «Время разработки проекта» («Engineering\_time») и промежуточная переменная «Projector\_Rating». Выходная переменная – «Ошибка проекта» («Project\_Error»).

В качестве метода дефаззификации используется стандартный метод Center-of-Maximum (сокращенно – CoM), который представляется путем наилучшего компромисса для получения окончательного значения входных переменных. В программе fuzzyTECH он работает аналогично методу центра тяжести. Главным его достоинством является то, что в дефаззификации участвуют все активизированные функции принадлежности заключений (все активные правила), а, значит, он является более «демократичным» и обеспечивающим высокую чувствительность нечеткой модели к изменению входных сигналов [10].

Нечеткая модель реализована через fuzzyTech 5.54 d Professional Edition и представлена на рис. 2.

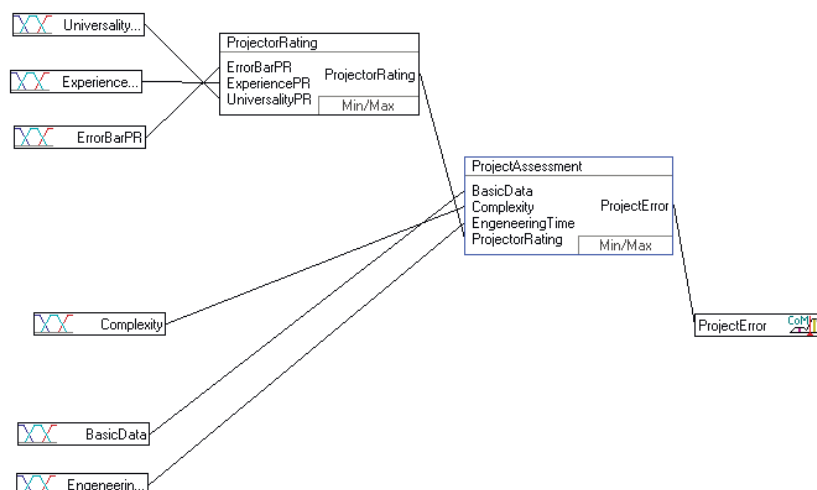


Рис. 2. Нечеткая модель оценки качества проекта  
Fig. 2. Fuzzy model of project quality evaluation

На рисунках 3, 4, 5 и 6 представлена трехмерная поверхность нечеткого вывода для нечеткой модели «Ошибка проекта».

На рисунке 7 представлен анализатор правил нечетких продукций для промежуточной переменной «Рейтинг проектировщика».

На рисунке 8 представлен вид рабочего интерфейса «Ошибка проекта» при заданных условиях и вычислена ошибка проекта.

В дальнейшем, анализируя входные переменные, накопленные в базе данных, и используя основные принципы построения функций принадлежности, проводится построение самонастраивающейся нечеткой модели для анализа вновь разработанного проекта.

Рассмотрев таблицу 4, видим, что данные, полученные с помощью нечеткой модели, ближе к фактическим величинам по сравнению с проектными величинами, что приводит к уменьшению производственных запасов и снижению замораживания оборотного капитала.

**Заключение.** Лингвистические модели позволяют принимать решения для слабоструктурированных задач. Использование нечеткой логики позволяет снижать уровень производственных запасов. Построена нечеткая модель оценки качества проекта, которая, в зависимости от результата, дает



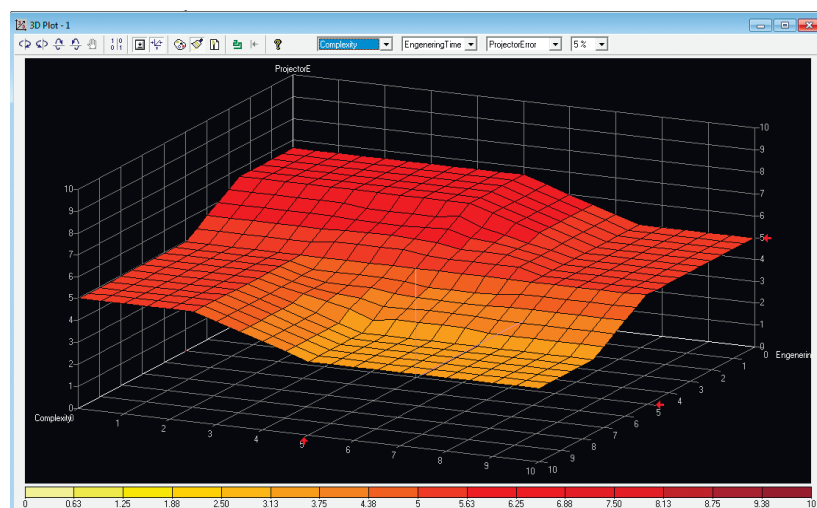


Рис. 3. Вид поверхности нечеткого вывода на трехмерной поверхности для разработанной модели в интерактивном режиме отладки (сложность, время разработки, ошибка проекта)

Fig. 3. View of fuzzy inference surface on 3D surface for the developed model in debugging interactive mode (complexity, engineering time, project error)

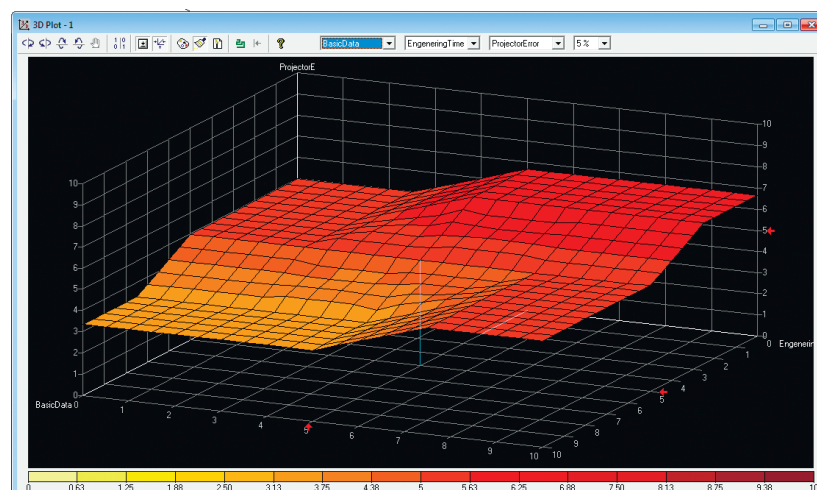


Рис. 4. Вид поверхности нечеткого вывода на трехмерной поверхности для разработанной модели в интерактивном режиме отладки (исходные, время разработки, ошибка проекта)

Fig. 4. View of fuzzy inference surface on 3D surface for the developed model in debugging interactive mode (basic data, engineering time, project error)

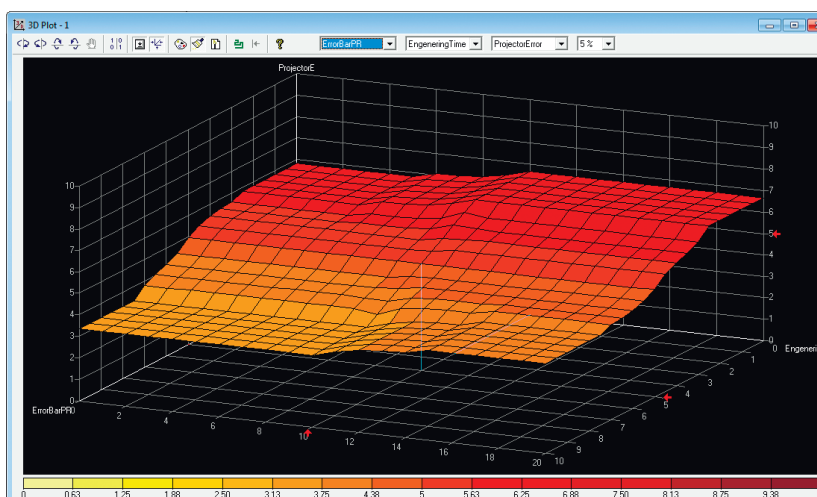


Рис. 5. Вид поверхности нечеткого вывода на трехмерной поверхности для разработанной модели в интерактивном режиме отладки (% брака проектанта, время разработки, ошибка проекта)

Fig. 5. View of fuzzy inference surface on 3D surface for the developed model in debugging interactive mode (error bar, engineering time, project error)

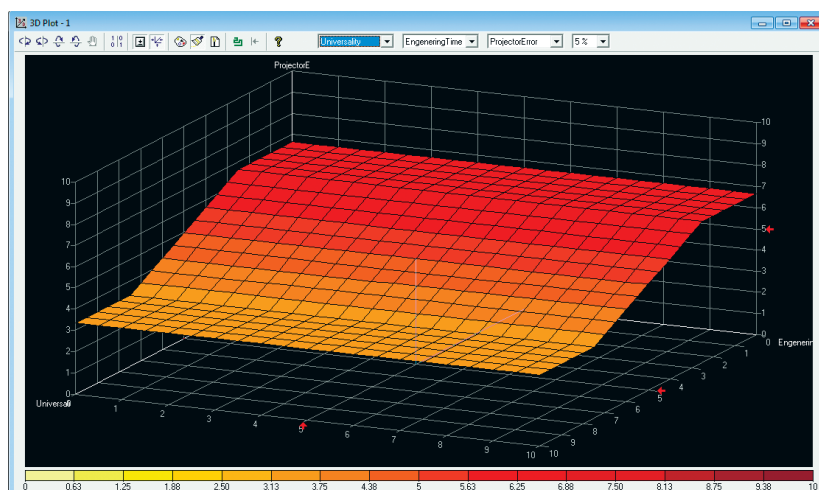


Рис. 6. Вид поверхности нечеткого вывода на трехмерной поверхности для разработанной модели в интерактивном режиме отладки (универсальность, время разработки, ошибка проекта)

Fig. 6. View of fuzzy inference surface on 3D surface for the developed model in debugging interactive mode (universality, engineering time, project error)

Rule Analyzer - ProjectorRating						
ProjectorRating = (0.00000, 1.00000, 0.00000)						
Term	RB	IF	Aggr.	DoS	Res.A...	
low = 0.00000						
medium = 1.00000	ProjectorRating	ErrorBarPR = medium...				
		Experience = medium...				
		Universality = high	0.50004	1.00000	0.50004	
	ProjectorRating	ErrorBarPR = medium...				
		Experience = close &				
		Universality = high	0.49996	1.00000	0.49996	
high = 0.00000						

Рис. 7. Анализатор правил нечетких продукций

Fig. 7. Analyzer of fuzzy rules

Watch: Interactive Debug Mode

6.966

Inputs:	Outputs:	Intermediate:
BasicData 3.825	ProjectorError 6.065	ProjectorRating.low 1.000
Complexity 6.684		ProjectorRating.medium 0.032
EngineeringTime 1.958		ProjectorRating.high 0.000
ErrorBarPR 14.921		
Experience 1.076		
Universality 6.966		

Рис. 8. Вид рабочего интерфейса в режиме отладки

Fig. 8. View of debugging interface

Таблица 4. Анализ результатов

Table 4. Analysis of results

	Проектная величина	Величина по нечеткой модели	Фактическая величина
Проект А, материал 1	1,631	1,61	1,590
Проект А, материал 2	1,937	1,879	1,856
Проект Б, материал 1	4,694	4,597	4,421
Проект Б, материал 2	2,508	2,403	2,311

допустимую оценку количества закладываемых материалов, что позволят заказывать оптимальное количество материалов и своевременно строить объекты. Построение нечетких моделей оценки

проектов может использоваться для различных строительных проектов, позволяет учитывать отклонения проектных величин от фактических объемов на базе анализа качества разработанного проекта.

### Список литературы

1. Демидова, Л. А. Принятие решений в условиях неопределенности / Л. А. Демидова, В. В. Кираковский, А. Н. Пылькин. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 288 с.
2. Заде, Л. Тени нечетких множеств/ Л. Заде //Проблемы передачи информации. – 1966. – Т. 2. – С.37-44
- 3.Ципес, Г. Л. Менеджмент проектов в практике современной компании / Г. Л. Ципес, А. С. Товб. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2006. – 304 с.
4. Живицкая, Е. Н. Логистические информационные системы: монография / Е. Н. Живицкая. – Минск: БГУИР, 2013. – 362 с.
5. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление/ А. Пегат. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 798 с.
6. Локк, Д. Основы управления проектами / Д. Локк – М.: «HIPPO», 2004. – 253 с.
7. Богданов, В. В. Управление проектами. Корпоративная система – шаг за шагом / В.В. Богданов. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2012. – 248 с.
8. Живицкая, Е. Н. Теория принятия решений в экономических исследованиях: учеб. пособие / Е. Н. Живицкая. – Минск: БГУИР, 2017. – 294 с.
9. Штовба, С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия. – Телеком, 2007. – 288 с.
10. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH/ А. В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

### References

1. Demidova L. A. Prinytie resheniy v ysvloiyx neopredelennosti [Decision making under uncertainty]. M.: Gorychay linia-Telecom Publ., 2012. 288 p. (in Russian).
2. Zadeh L. Teny nechetkich mnojestv [Shadows of Fuzzy Sets]. Problems of Information Transmission, 1966, Vol.2. pp. 37-44 (in Russian).
3. Cipers G. L. Menegdgment proektov v praktike sovrimenoy kompanii [Project management in the practice of a modern company]. Moscow: Olimp Business Publ., 2006, 304 p. (in Russian).
4. Zhivitskaya H. N. Logisticheskie informacionnye sistemy: monografija [Logistic information systems: monograph]. Minsk: BSUIR, 2013, 362 p. (in Russian).
- 5.Pegat A. Nechetkoe modelirovanie i ypravlenie [Fuzzy simulation and control].M.:BINOM Laboratoriy znaniy Publ., 2013, 798 p. (in Russian).
6. Lock D. Osnovy ypravleniy proektami [Project Management Basics]. M.: «HIPPO», 2004, 253 p. (in Russian).
7. Bogdanov V. V. Ypravleniy proektami. Korporativnay sistema [Project Management. Corporate System – step by step]. M.: Mann, Ivanov and Ferber Publ., 2012, 248 p. (in Russian).
8. Zhivitskaya H. N. Decision making theory in economic research: study guide. Minsk: BSUIR, 2017. 294 p. (in Russian).
9. Shtovba S. D. Proektirovanie nechetkix system sredstvami MATLAB.M.: Gorychay linia-Telecom Publ., 2007. 288 p. (in Russian).
10. Leonenko A. V. Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH [Fuzzy simulation in MATLAB and fuzzyTECH]. SpB.: BXV-Piterburg Publ., 2005, 736 p. (in Russian).

*Received: 17.06.2019*

*Поступила: 17.06.2019*